

Сертифікація, стандартизація, якість

УДК 621

ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО СТАНУ — ОСНОВА ПРОМИСЛОВОЇ БЕЗПЕКИ БУРОВИХ УСТАНОВОК (БУ)

О.М.Карпаш, Я.М.Зінчак, М.Р.Козулькевич, М.О.Карпаш

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42264, 42453,
e-mail: public@nung.edu.ua

Особенную актуальность проблема промышленной безопасности имеет для предприятий нефтегазового комплекса, а наиболее для бурового оборудования, расчетно-нормативный срок эксплуатации которого превышает 10 лет.

Исследованы проблемы прогнозирования реального остаточного ресурса буровых установок. Приведена концепция продления срока эксплуатации буровых установок.

Исследованы методы ранней диагностики разных типов оборудования и конструкций, проанализированы их преимущества и недостатки при использовании для определения фактического технического состояния механического оборудования буровых установок в процессе эксплуатации.

Выбраны и описаны два основных метода ранней диагностики, которые могут быть применены к буровым установкам: (стационарным и мобильным): метод магнитной памяти металла и вибрационный метод диагностирования.

The problem of industrial safety is of great importance for petroleum industry, especially for drilling equipment which design operation life exceeds 10 year.

The problem of real remaining operation life estimation drilling system was investigated.

The concept of exploitation period prolongation of drilling system is given.

The method of early diagnostic of different types of equipment and structures has been investigated.

The analysis of it's drawbacks and opportunities has been done as well.

Two main methods of early diagnosis were selected and described which can be applied for inspection of drilling systems (stationary and mobile): method of metal magnetic memory and vibrational method of inspection.

ВСТУП

Розвиток систем паливної енергетики і об'єктів хімічної технології пов'язаний зі збільшенням масштабів видобування і переробки нафти, газу і конденсату, зі значним зростанням одиничних потужностей установок і апаратів, а також із ускладненням самих технологічних процесів і режимів управління виробництвом. Як наслідок, поряд з розвитком науково-технічного прогресу в промисловості має місце стійка тенденція зростання кількості аварій з важкими екологічними, економічними і соціальними наслідками. Безпека, таким чином, висувається в число основних характеристик промислових об'єктів [1].

Особливу актуальність проблема промислової безпеки має для підприємств нафтогазового комплексу, що підтверджується даними Держнаглядохоронпраці про аварійність за останні роки.

Особливо гостро стоїть питання промислової безпеки в процесі експлуатації бурового обладнання, нормативний (розрахунковий) термін експлуатації якого перевищує 10 років. Основна частина бурових установок, випущених ще до 90-х років, на даний час відпрацювала свій розрахунково-нормативний термін експлуатації і потребує масштабної заміни. Тому існує нагальна потреба оцінки їх залишкового ресурсу, визначення фактичного стану та прийняття рішення про доцільність подальшої експлуатації чи невідкладної заміни.

Якщо визначення можливості безпечної експлуатації бурових веж на підставі неруйнівного контролю та оцінки технічного стану металоконструкцій бурових веж на всіх стадіях життєвого циклу (проектування, виготовлення, перевірок і випробувань, окрім експлуатації) достатньо вивчені, розроблені та описані [2], то контроль пошкоджень у процесі експлуатації, побудова сценаріїв виникнення і розвитку

аварій, концепція продовження терміну експлуатації БУ, визначення фактичного стану обладнання БУ сучасними методами ранньої діагностики, є актуальним предметом детальних досліджень.

1 ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ БУРОВИХ УСТАНОВОК

Величина ризику виникнення та розвитку аварій обладнання, тобто частота реалізації небезпек певного класу, визначається як ймовірність аварій, об'єднана з можливими наслідками.

Розрахунок і аналіз ризику (оцінка ризику), основою яких є залишковий ресурс, є тим методичним інструментом, за допомогою якого потенційна небезпека може бути оцінена кількісно.

Суть концепції аналізу ризику полягає у побудові більшості всіх без виключень (що не суперечать законам фізики) сценаріїв виникнення аварій на об'єкті з наступною оцінкою частоти реалізації кожного з сценаріїв та визначенням масштабів наслідків розвитку сценаріїв.

1.1 Побудова сценаріїв виникнення та розвитку аварій

Усі причини виникнення та розвитку аварій можна розділити на 4 класи:

I – відмови обладнання;

II – відхилення від технологічного регламенту;

III – помилки виробничого персоналу;

IV – форс-мажор.

Для аналізу ініціювання аварій, викликаних відмовами обладнання, найчастіше використовується метод дерева відмов (**Fault Tree Analysis – FTA**) [3]. Однією з переваг цього методу є систематична, логічна обґрунтована побудова множини відмов елементів системи, що можуть призводити до аварії. FTA вимагає повного розуміння функціонування системи та характеру відмов її елементів.

FTA розбиває аварію на складові компоненти, які визначаються відмовами обладнання. Даний метод є методом “зворотного осмислення”, тобто дослідник починає з аварії або другої небажаної події і розглядає події, які призвели до їх реалізації. Потім досліджуються причини виникнення цих подій і так далі, до тих пір, поки не будуть виявлені всі первинні події, аналіз причин яких не проводиться або через відсутність необхідної інформації, або через небажання розглядати надто громіздку структуру.

Результатом аналізу дерева несправностей є перелік комбінацій відмов обладнання.

Необхідно зазначити, що метод дерева несправностей дає змогу врахувати не тільки відмови обладнання, але і після проведення відповідних розрахунків та оцінок причини, які відносяться до других класів.

Дерево несправностей – це графічне представлення логічних зв'язків між відмовами обладнання та аварійними ситуаціями.

Відмови, що входять у структуру дерева несправностей, можуть бути поділені на три групи:

- первинні відмови;
- вторинні відмови;
- відмови управління.

Однією із задач аналізу дерева несправностей є визначення переліку первинних відмов, які призводять до створення аварійної ситуації.

Вторинні відмови та відмови управління є проміжними подіями, які вимагають додаткового аналізу для виявлення первинних подій, які приводять до їх виникнення.

Аналіз дерева несправностей виконується у чотири стадії:

- поставлення завдання;
- розроблення дерева несправностей;
- визначення мінімальних перериваючих сукупностей;
- ранжування цих сукупностей.

Дерево несправностей дає багато корисної інформації, яка полягає у відображенні взаємодій несправностей обладнання, що можуть призвести до виникнення аварій. Однак, за виключенням найпростіших дерев несправностей, навіть найкваліфікованіший дослідник не може визначити безпосередньо з дерева всі комбінації відмов елементів, що призводять до аварії. Для цього розроблені спеціальні комп'ютерні коди.

Найчастіше для аналізу можливих сценаріїв розвитку аварії використовується **метод дерева подій**. Цей метод дає змогу простежити можливі аварійні ситуації, які виникають внаслідок реалізації відмови обладнання або переривання процесу, що виступає в якості вихідних подій.

На відміну від методу дерева несправностей аналіз дерева подій є “прогнозованим наперед” процесом, за якого споживач починає з вихідної події і розглядає ланцюг наступних подій, які призводять до аварії.

Основна процедура аналізу дерева подій включає в себе чотири стадії:

- визначення переліку вихідних подій;
- визначення “безпечних дій” для кожної вихідної події;
- побудова дерева подій;
- описання загальної послідовності подій.

Важливою частиною методу є перша стадія – вибір вихідних подій. До “безпечних подій” відносяться відповідні події, які спрямовані на ліквідацію впливу реалізованої події.

Відхилення від регламентованих умов, тобто від умов експлуатування, передбачених технічною і нормативною документацією, які можуть призводити до виникнення аварійних ситуацій, можуть носити як випадковий, так і детермінований характер. До перших відносяться погодні умови, діапазон параметрів матеріалів, змінні умови навантаження, внаслідок взаємодії породоруйнівного інструменту у свердловині тощо. До других відносяться зміни характеристик перерізів, викликаних корозійно-ерозійним зношенням у процесі експлуатації обладнання, зміна механічних характеристик матеріалів у процесі старіння тощо.

Використання методу HAZOP починається не з визначення видів можливих несправностей, а з вивчення системних змінних (змінних

процесу) та їх відхилень від норми [4]. Цей ме-

Включення в дерево несправностей зовні-

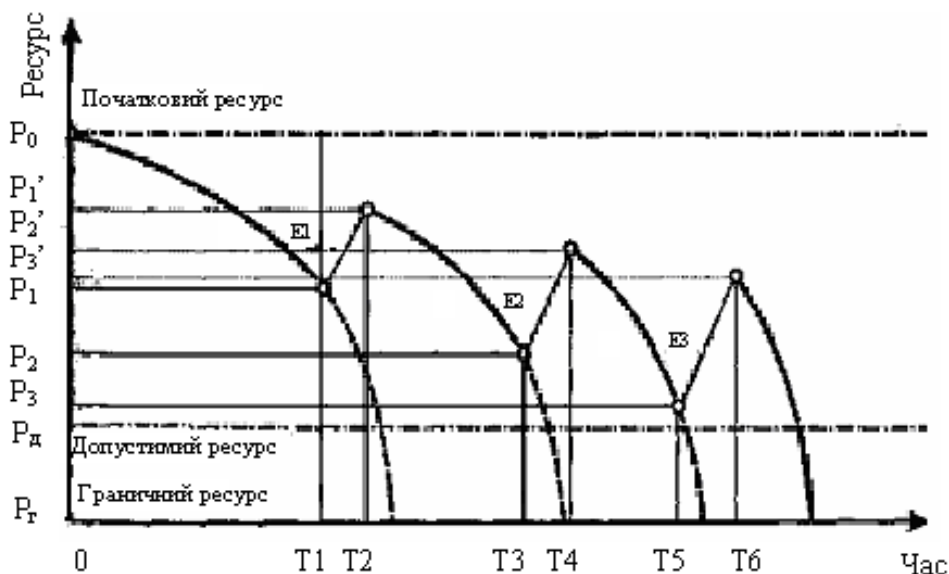


Рисунок 1 — Діаграма продовження безпечного ресурсу експлуатації БУ

тод ґрунтується на тому, що ті що розвиваються або уже існуючі несправності проявляються так чи інакше у відхиленнях змінних процесу від звичайного рівня, який спостерігається (необхідно відзначити схожість основної ідеї HAZOP з ідеєю методу контрольних карт).

Використання методу починається з дослідження структури системи і процесів, що в ній відбуваються, та аналізу кожного можливого відхилення змінних від нормального значення, а потім виявляються можливі причини і наслідки цих відхилень.

Результати досліджень для кожного з параметрів процесу заносяться у спеціальні таблиці.

Помилка виробничого персоналу – це дія, що виконується або не виконується за деяких умов. Це можуть бути фізичні дії (поворот ручки на пульті керування) або дії, пов'язані з розумовою діяльністю (діагностики відмов чи прийняття рішення).

Метод аналізу помилок персоналу (HUMAN RELIABILITY ANALYSIS – HRA) призначений для якісної оцінки подій, пов'язаних з помилками персоналу. Він також може бути використаний для розроблення рекомендацій щодо зниження ймовірності таких помилок [5].

HRA включає ідентифікацію умов, що викликають помилки людей і оцінку ймовірності таких помилок.

Форс-мажор (зовнішні події) можуть бути поділені на дві категорії:

- природні явища: землетруси, паводки, урагани, висока температура, грозові розряди тощо;

- явища, що виникають у результаті діяльності людей: авіакатастрофи, падіння ракет, діяльність сусідніх промислових об'єктів, диверсії тощо.

шніх причин вимагає не тільки розуміння особливостей функціонування аналізованої системи, але й її зв'язку з другими системами та природними явищами.

Оцінка частоти реалізації кожного сценарію виникнення і розвитку аварій. Оцінка частоти реалізації різних сценаріїв аварій визначається з використанням методу дерева подій.

Методологічні підходи до оцінки частот реалізації різних сценаріїв виникнення і розвитку аварій передбачає наявність повної інформації про частоту первинних відмов, взаємні впливи відмов елементів, їх залишкові ресурси тощо.

Головна мета менеджменту дослідження промислової безпеки БУ – продовження терміну безпечної експлуатації (що особливо важливо для дорогих установок для буріння, ремонту та освоєння нафтогазових свердловин).

1.2 Концепція продовження терміну експлуатації БУ

На рис. 1 зображена діаграма продовження безпечного ресурсу експлуатації БУ [3].

Розглянемо алгоритм, який лежить в основі процесу продовження терміну експлуатації.

Початок експлуатації характеризується початковим ресурсом безпеки (надалі – ресурс), якому відповідає значення R_0 . За умов досягнення розрахункового (нормативного) терміну експлуатації (дільниця 0-T1) ресурс БУ знижується (значення R_1) і наближається до допустимого рівня. На цьому етапі (точка E1) приймається рішення або про виведення БУ з експлуатації, або про проведення експертизи, ремонту або модернізації БУ.

На дільниці T1-T2 проводиться дослідження (експертиза) промислової безпеки, заходи з ліквідування дефектів, модернізація, ремонт, а також перевіряється якість і повнота заходів з

ліквідування дефектів. У результаті проведеної модернізації ресурс БУ може бути підвищений до рівня Р1: на основі результатів експертизи і виконання коригуючих заходів з ремонту, модернізації, приведення у відповідність до вимог норм і правил безпеки обладнання БУ виходить в експлуатацію (дільниця Т2-Т3) на новий продовжений термін.

Подальша експлуатація поступово призводить до зниження ресурсу БУ і на момент часу Т3 у точці Е2 знову приймається рішення або про виведення БУ з експлуатації, або про проведення наступного комплексу експертизи, ремонту або модернізації БУ і т. д.

Необхідно відзначити, що зі збільшенням віку БУ витрати і час на проведення експертизи, ремонту та модернізації зростають, у той час як продовжений термін експлуатації знижується.

1.3 Визначення фактичного стану (контроль) технічних пристроїв БУ

Контроль технічних пристроїв БУ передбачає використання не менше двох неруйнівних методів, один з яких призначений для виявлення поверхневих дефектів, а другий – для виявлення внутрішніх дефектів.

Методи неруйнівного контролю (НК) вибираються на розсуд фахівців, що проводять технічне діагностування, і (або) згідно з керівними документами на проведення НК.

НК виконується атестованими спеціалістами згідно з методичною документацією на проведення НК.

Для виявлення дефектів можуть використовуватися такі методи НК:

- візуально-вимірювальний (візуально-оптичний) контроль згідно з ГОСТ 25706-83;
- радіографічний контроль згідно ГОСТ 7512-82;
- ультразвуковий (акустичний) контроль згідно з ГОСТ 14782-86;
- капілярний контроль згідно з ГОСТ 18442-80;
- магнітопорошковий або феррозондовий контроль згідно з ГОСТ 21104-75 і ГОСТ 21105-87;
- вібраційний (вібродіагностика);
- вихрострумний;
- акустично-емісійний контроль згідно з ГОСТ 27655-88;
- інші, що забезпечують потрібне виявлення дефектів (твердометрія, товщинометрія тощо).

2 ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТИЧНОГО СТАНУ МЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ БУ В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Теорія запобігання аварій і катастроф поряд з моделюванням ризику включає аналіз граничних станів за найскладніших сценаріїв розвитку аварійних ситуацій з урахуванням первинних і вторинних факторів пошкоджень для забезпечення безпеки під час комбінованих дій вражаючих чинників.

Загалом для традиційного вирішення проблеми безпеки використовують три підходи:

- з позицій міцності (в її багатокритерійному виразі через напруження σ);
- з позицій ресурсу (в тимчасовій і поциклових постановках)
- з позицій надійності (у вірогідності багаточинника Р-представлення).

Визначення міцності, ресурсу і живучості в теорії і техніці попередження і запобігання аварій разом з моделюванням включає аналіз граничних станів, розвиток методів і створення систем оперативної діагностики аварійних ситуацій і пошкоджених станів.

Визначення базових параметрів по всьому ланцюжку “міцність – безпека” ґрунтується на застосуванні методів неруйнівного контролю і вимірювань для визначення фактичного стану.

Загальна практика контролю нафтогазового обладнання та інструменту передбачає застосування методів ранньої діагностики [6] для попередження утворення недопустимих дефектів, їх виявлення на ранній стадії, а також для прогнозування залишкового ресурсу з метою продовження терміну експлуатації.

2.1 Загальний огляд методів ранньої діагностики

Питання діагностування загалом, зокрема раннього, нерозривно пов'язане з процесом руйнування, оскільки метою діагностування є попередження та прогнозування раптових руйнувань конструкцій та обладнання. Для металоконструкцій тривалої експлуатації, до яких можна віднести і бурові установки (БУ), характерним є вихід з ладу в результаті руйнування або втомних пошкоджень, а не внаслідок зносу.

Останнім часом стало загальноприйнятим вважати, що процес втомного руйнування складається із трьох фаз. Перша фаза – виникнення тріщини, друга – поширення тріщини, і накінець, коли тріщина досягає критичного розміру, процес руйнування завершується третьою фазою – швидке та неусталене зростання тріщини до повного руйнування. Можливість моделювання кожної з цих фаз інтенсивно досліджувались, однак на даний момент ще не створено моделей, які б у сукупності представляли загальний інженерний метод розрахунку.

У розробці методик застосування методів неруйнівного контролю та технічної діагностики досягнуто значного поступу, і вони обов'язково повинні застосовуватись у створенні безпечних та надійних конструкцій. Загалом, усі розроблені методи ранньої діагностики дають змогу здійснювати опосередкований контроль таких параметрів: напружено-деформований стан; зміна структури металу; зміна фізико-механічних характеристик; зони концентрації напружень; виявлення дефектів на стадії утворення.

Серед відомих методів ранньої діагностики різних типів обладнання та конструкцій, які були розроблені в останні десятиліття, можна виділити кілька основних.

Метод тензометрії дає можливість на основі вимірювань виконувати відносно точні розрахунки робочих та залишкових напружень і деформацій для поверхні виробу чи конструкції.

Рентгеноструктурний та ультразвуковий методи мають свої особливості, але основними їх недоліками є локальність контролю, необхідність підготовки контрольованої поверхні, а також висока вартість та громіздкість вимірювального обладнання.

Метод магнітних шумів (ефект Баркгаузена) дає змогу здійснювати комплексну оцінку стану поверхневого шару металу (глибиною не більше 0.2 мм) з урахуванням структури та залишкових напружень виробів.

Магнітопружний метод визначення залишкових напружень базується на залежності магнітної проникності об'єму металу від величини залишкових напружень, які діють у даному об'ємі. Метод має ряд недоліків, основним із яких є значна похибка методу, зумовлена тим, що магнітна проникність змінюється в процесі зварювання не тільки під дією залишкових напружень, але і внаслідок зміни температури, хімічного складу та структури металу.

Відомий також **метод контролю механічних напружень по зміні локальної залишкової намагніченості**. В основі методу і відповідних технічних засобів закладені залежності градієнта магнітного поля над локально намагніченою ділянкою від величини механічних напружень. Ці залежності попередньо досліджуються на зразках під час розтягу і циклічних навантажень. Потім отримані залежності використовуються на обладнанні, що перебуває в експлуатації.

Метод муарових смуг або метод оптично-активних покриттів дає змогу виявляти локальні деформації, різні неоднорідності металу, смуги ковзання і тріщини. Цей метод, крім ряду недоліків, потребує застосування спеціальних оптично-активних покриттів.

Відомий також **коерцитиметричний метод контролю напружень та деформацій**. Даний метод має ряд недоліків, що полягають у необхідності зачистки поверхні контролю, неможливості контролю зварних з'єднань гнутих елементів та складність визначення фактичних зон концентрації напружень від впливу діючих робочих навантажень. Даний метод доцільно використовувати як додатковий та наближений для оцінки напружено-деформованого стану конструкцій у поєднанні з іншими методами неруйнівного контролю.

Аналіз можливостей відомих методів контролю та вимірювання напружень і деформацій в основному металі виробів та конструкцій дає змогу назвати їх суттєві та узагальнені недоліки. Основними недоліками є:

- неможливість використання методів у пластичній області деформацій;
- локальність контролю, їх непридатність для контролю великогабаритних конструкцій;
- не враховується зміна структури металу;
- контроль виконується тільки на поверхні виробів, неможливість оцінки глибинних шарів металу;
- необхідна побудова градувальних графіків на попередньо виготовлених зразках;
- необхідна підготовка контрольованої поверхні і об'єктів контролю (зачистка, активне

намагнічування, наклеювання перетворювачів і т.п.);

– складність визначення положення перетворювачів контролю відносно напрямку дії головних напружень та деформацій, які визначають напруженість конструкції.

Значного поширення в даний час зазнав **метод акустичної емісії (АЕ)** при оцінці ресурсу обладнання та конструкцій. Метод АЕ базується на тому, що при мікророзтріскуванні у вершинах дефектів випромінюються акустичні сигнали.

Метод АЕ порівняно з іншими методами має ряд суттєвих переваг під час оцінки роботоздатності обладнання і конструкцій. Він дає змогу контролювати розвиток дефектів у пружно-пластичній області і в об'ємі металу конструкцій, охоплює великі ділянки контролю. Проте, метод АЕ потребує значних підготовчих робіт, чутливий до завад від фонового шуму. Апаратура контролю має високу вартість і недостатньо метрологічно забезпечена. Найбільш суттєвим недоліком методу АЕ є те, що він не дає оцінки напружено-деформованого стану всієї конструкції.

В останні роки все більшого поширення дістали такі нові методи: метод магнітної пам'яті металу, за якого використовується ефект магнітної пам'яті до зон дії максимального робочого навантаження, та вібраційний метод діагностування, який може бути застосований як для оцінки роботоздатності всієї конструкції установки, так і її окремих елементів без розбирання і зупинки БУ та її основних механізмів.

2.2 Метод магнітної пам'яті металу (ММП-контроль)

Процесами, що передують експлуатаційному пошкодженню будь-якої конструкції, є зміна властивостей металу (корозія, втома) в зонах концентрації напружень та деформацій. Відповідно відбувається зміна намагніченості металу, що відображає фактичний напружено-деформований стан конструкції.

Метод магнітної пам'яті металу, що базується на вимірюванні поля залишкової намагніченості, дає змогу здійснювати оцінку напружено-деформованого стану виробів з урахуванням неоднорідності структури як у пружній, так і в пластичній зонах деформацій. Завдяки цьому є можливість своєчасно виявляти зони концентрації напружень та деформацій, що зумовлені дією робочих навантажень і неоднорідністю структури металу. Під час контролю використовується ефект магнітної пам'яті металу в зонах дії максимальних робочих навантажень.

Метод магнітної пам'яті не дає кількісної оцінки рівня діючих напружень (на відміну від тензодавачів). Однак він дає змогу (існують відповідні критерії) відрізнати область пружної деформації від пластичної, визначати площі ковзання шару металу і зони зародження втомних тріщин. Якщо тріщина вже утворилась, метод проявляє напрямок розвитку тріщини в структурі металу і таким чином дає відповідь на питання чи розвивається тріщина.

Проблема раптових втомних руйнувань нафтогазового обладнання та інструменту з використанням традиційних методів неруйнівного контролю не може бути вирішена, оскільки вона направлена на пошук уже розвинутих дефектів. ММП-контроль, здійснюючи ранню діагностику обладнання, дає можливість вирішити це завдання.

Основні переваги нового способу діагностики порівняно з відомими методами неруйнівного контролю такі:

- використання способу не потребує спеціальних намагнічуючих пристроїв, так як використовується явище намагнічування труб і деталей в процесі їх роботи;
- місця концентрації напружень заздалегідь невідомі і визначаються в процесі контролю;
- не потрібно зачищати чи у якийсь інший спосіб готувати контрольовану поверхню;
- для виконання контролю згідно даного способу використовуються малогабаритні прилади з автономним живленням та обладнані реєструючими пристроями.

На основі фактичного напружено-деформованого стану конструкції існує можливість своєчасно її зміцнити чи замінити зношений вузол. ММП-контроль ефективно використовується разом із іншими методами неруйнівного контролю.

2.3 Вібраційний метод діагностування

Під час пошкодження конструкцій зменшується їх жорсткість, внаслідок чого змінюються частоти і збільшуються амплітуди їх вібрацій. Вібрації конструкцій зазвичай є демпфованими вимушеними коливаннями. Демпфування вібрацій конструкцій може бути значним. Воно пов'язане з дисипацією (розсіянням) енергії внаслідок в'язкого внутрішнього або контактного тертя. У конструкціях із високими демпфуючими властивостями вібрації швидко затухають, тоді як в конструкціях із низьким коефіцієнтом демпфування амплітуда вібрацій може досягти руйнівного рівня.

До дефектів, що можуть викликати інтенсивні вібрації конструкцій, відносяться послабленні перерізи, недостатньо жорсткі основи і фундаменти, механічні люфти і неефективні кріплення. Вібрації викликаються також додатковими навантаженнями від збурень навколишнього середовища – вітру, опадів, землетрусів, просідання ґрунту, руху транспорту та ін. Під дією вказаних чинників у конструкціях можуть збуджуватись поперечні, поздовжні і крутильні коливання різних мод. Вібрації характерні для конструкцій та устаткування, що працюють у динамічних режимах.

Вітер і опаді викликають постійну вібрацію колон (ніг) бурової вежі стаціонарної бурової установки чи платформи транспортної бази мобільної бурової установки (МБУ). Іншими джерелами вібрації є різні механізми і машини, які встановлені і функціонують на платформі. Як правило, конструкції колон та платформ мають невисоке демпфування, так що частота їх коливань близька до частоти дії збуджуючих сил, що може бути рівна частоті власних коливань конструкції і викликає явище резонансу.

Руйнування одного з елементів несучої конструкції викликає зміну її жорсткості, частоти власних коливань і подальшої поведінки під час вібраційного навантаження.

Значення резонансних частот колон бурової вежі БУ чи платформи транспортної бази МБУ залежать від їх маси і жорсткості. Пошкодження одного із силових елементів призводить до збільшення навантажень і деформацій, що діють на інші елементи. Локальна втрата жорсткості викликає зниження частот власних коливань конструкції, що можна визначити експериментально. Першу та другу гармоніки власних коливань можна визначити під час природного збудження конструкції. Руйнування або пошкодження будь-якого елемента конструкції призводить до більш різкої зміни вібраційних характеристик конструкції при різних частотах. За характером цих змін можна наближено визначити розташування елемента, що вийшов з ладу. Для деяких конструкцій можна також оцінювати частоти третіх тонів коливань. Ці дані є підтвердженням руйнування того чи іншого елемента і дають змогу знайти його.

Таким чином, частота власних коливань дає інформацію про цілісність конструкції, а зміна амплітуди дає змогу встановлювати форму коливань і визначати розташування дефекту.

Повністю зруйновані несучі елементи конструкцій можуть бути виявлені за зміною їх характеристик без розбирання і зупинки БУ. Для виявлення пошкоджень, таких, як тріщини у зварних з'єднаннях, необхідно визначати більш високі моди коливань у групах елементів або навіть в окремому елементі конструкції. Такі моди можна аналізувати з використанням крос-спектрального аналізу прискорень, що вимірюються одночасно на всіх елементах конструкції.

Одним з основних завдань неруйнівного контролю БУ під час експлуатації є достовірна оцінка в даний момент часу фактичного стану тіл обертання відповідальних механізмів, недовступних для візуального огляду без розбирання і зупинки машини. Для вирішення цієї проблеми використовується віброакустичний метод неруйнівного контролю. Діагностовані стани машин і оцінка ступеня небезпеки пошкодження на основі даних контролю вібрації – один з найефективніших методів визначення працездатності обладнання. Вібрація механізмів, що діагностуються, представляє собою складний спектр, який складається з частотних складових, порушуваних окремими елементами їх конструкцій і перешкодами

$$S(t) = \sum A_i \sin(\omega_i t + \varphi_i) + \Theta(t), [4]$$

де: A_i , ω_i , φ_i – амплітуда, кругова частота і кут i -ї складової спектру;

$\Theta(t)$ – рівень широкопоздовжнього шуму.

Для здійснення вібраційного контролю (збору параметрів вібрації і проведення спектрального аналізу) рекомендовано використовувати апаратуру, оснащену процесором швидкого перетворення Фур'є (БПФ)4 і програмне за-

безпечення (наприклад, фірм CSI (США) або "ВАСТ" (Росія).

На бурових установках об'єктами контролю є бурові лебідки, бурові насоси і їх приводи.

Методом вібродіагностики здійснюється контроль структурного стану механізму (неспіввісність, дисбаланс, знос зв'язаних деталей, послаблення кріплення до фундаменту, знос підшипників і т.д.) і його функціонального стану – пошук можливих дефектів (поломка зуба шестерні, утворення тріщин, і т.п.). Ефективність методу залежить від правильності вибору точок вимірювання на об'єкті.

Аналіз отриманих результатів дає змогу своєчасно і якісно проводити обробку вузлів і визначати необхідність ремонту машин на найближчий період часу, що сприяє попередження аварій устаткування.

Таким чином забезпечується значна економія фінансових коштів, зумовлена скороченням витрат на планово-запобіжні (періодичні) ремонти, ліквідацію аварій, і якнайповніше використання ресурсу устаткування.

Виникнення дефекту в механізмі і його динаміка викликає зміну рівня вібрації у відповідній смузі інформативних частот.

Інформативні частоти — частоти несправностей, можна розрахувати знаючи конструкцію (кінематичну схему) механізму: наприклад, для підшипника — число і діаметр тіл кочення, діаметри зовнішньої і внутрішньої обойми і швидкість обертання вала, для зубчастої передачі — число зубів шестерень і швидкість обертання вала шестерні.

Вібродіагностика машин і устаткування вирішує такі завдання:

- визначення технічного стану на даному етапі часу;
- виявлення дефектного вузла і конкретно-го дефекту;
- прогнозування залишкового ресурсу.

Регулярне вимірювання вібраційних параметрів бурового обладнання виявляє два типи стійких змін вібрації: монотонне, — викликане зміною структурних параметрів механізму в процесі зносу і старіння, і стрибкоподібне, дискретне, — пов'язане з відмовами і виникненням дефектів.

Процедура прогнозування залишкового ресурсу механізму за зміною рівня вібрації зводиться до екстраполяції знайденого тренда і визначення моменту перетину його з лінією граничного стану. Для побудови тренда необхідно проводити періодичні вимірювання вібрації залежно від циклів навантаження механізму (наприклад, раз на місяць або квартал).

Під час проведення вібродіагностичного моніторингу бурового обладнання БУ є характерні складні моменти, які впливають на ефективність діагностики:

- окремі механізми не мають доступу до всіх підшипникових вузлів;
- наявність у механізмах тихохідних валів (менше 600 об/хв);
- змінні циклічні навантаження в процесі роботи;

– наявність в устаткуванні вузлів з різним механізмом рухів (у насосі УНБ-600 — обертовий рух перетворюється у зворотно-поступальний).

У зв'язку з цим, віброакустичний метод неруйнівного контролю вимагає розробки якісних методик, адаптованих під конкретні умови роботи механізму, які забезпечують правильний вибір контрольованих параметрів, точок вимірювання, періодичності контролю, оптимальних рівнів.

ВИСНОВКИ

У цій публікації наведені шляхи забезпечення промислової безпеки БУ за результатами виконання таких робіт:

1. Досліджено порядок оцінки залишкового ресурсу та концепцію продовження терміну експлуатації бурових установок.

2. Досліджено методи ранньої діагностики елементів металоконструкцій БУ, проаналізовано їх переваги та виділено спільні недоліки традиційних методів неруйнівного контролю.

3. Вибрано два основні методи ранньої діагностики, які можуть бути застосовані до БУ (стаціонарних та мобільних) — метод магнітної пам'яті металу та вібраційний метод діагностування.

4. Розглянуто теоретичні фізичні основи методу магнітної пам'яті металу та проаналізовано його переваги порівняно з відомими методами НК.

Метод магнітної пам'яті може використовуватись, як основний для ранньої діагностики елементів металоконструкцій та конструкцій БУ загалом з метою визначення напружено-деформованого стану, контролю зварних з'єднань і тіла елементів.

Метод магнітної пам'яті металу може також бути доповнений коерцитиметричним методом.

5. Вібраційний метод діагностування може бути застосований для оцінки роботоздатності як усієї конструкції БУ, так і її окремих елементів, а також для виявлення та встановлення місця розташування дефектів типу порушення суцільності. Даний метод також може бути застосований для діагностування технічного стану колон (ніг) бурових веж стаціонарних БУ та платформи транспортної бази (основи) МБУ, бурових лебідок, бурових насосів і їх приводів.

Література

1 Карпаш О.М., Зінчак Я.М., Козулькевич М.Р. Ідентифікація та декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки підприємств нафтогазової галузі // Нафтова і газова промисловість. — 2004. — № 6. — С. 60-63.

2 ГСТУ 320.02829777.014-99 Неруйнівний контроль та оцінка технічного стану металоконструкцій бурових веж в розібраному і зібраному стані.

3 Methods of Fault Tree Analysis in Their Limits, Weber G.G. Brunel University. U.K., 1984

4 Придвижкин В.А., Бабин С.Г., Гарин Ю.Р. Экспертиза промышленной безопасности технических устройств буровых установок. – М., 2005.

5 Reliability And Safety of Process And Manufacturing Systems, 12 Annual Sump., Finland, 1991

6 Субботин С.С., Михайленко В.И. Дефектоскопия нефтяного оборудования и инструмента при эксплуатации. – М.: Недра, 1982. – 213 с.